

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ТЕМА НАУКОВОЇ РОБОТИ:

**«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАННЯ
ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ТА
ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ»**

АВТОРИ:

ТРОХАНЯК Олександра Миколаївна, к.т.н., доцент кафедри
надійності техніки

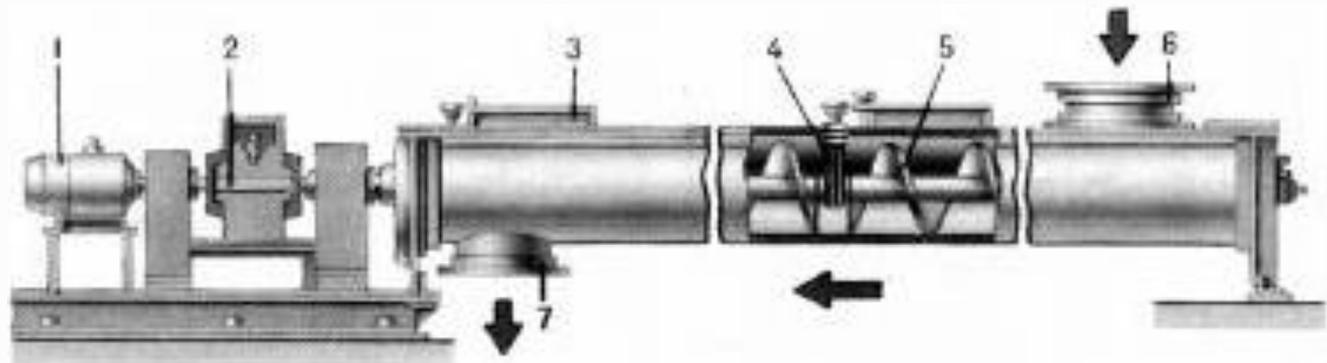
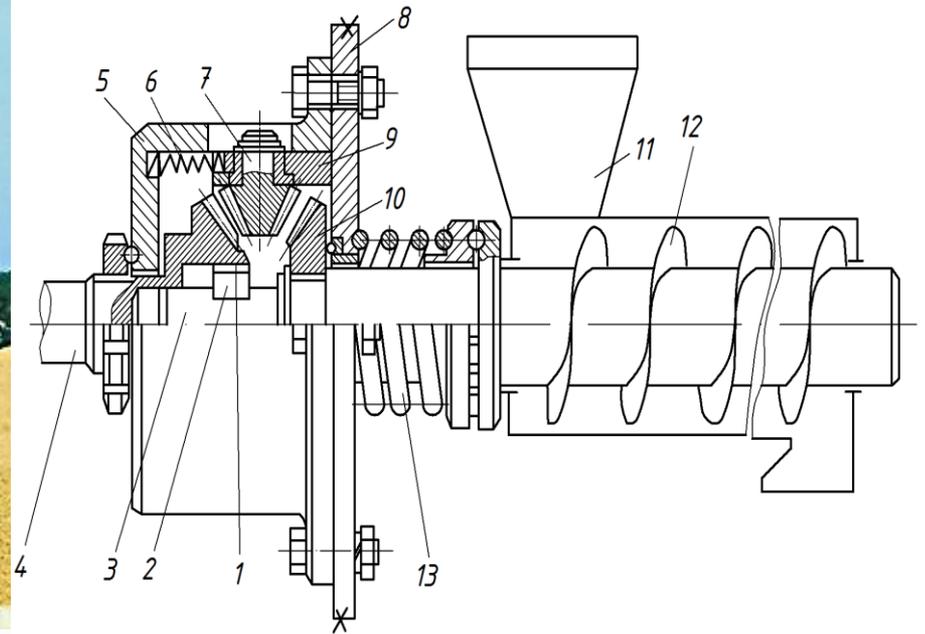
ТРОХАНЯК Віктор Іванович, к.т.н., доцент кафедри
теплоенергетики

Метою роботи є підвищення ефективності виконання процесів очищення та транспортування зернових матеріалів шляхом вдосконалення пневмовідцентрової частини пневмовібровідцентрового сепаратора зерна, розробки конструкції та вибору оптимальних параметрів шнекового пневмотранспортера, а також підвищення ефективності функціонування гвинтових конвеєрів в екстремальних умовах експлуатації шляхом розроблення та обґрунтування раціональних параметрів запобіжної муфти шнекового робочого органу.

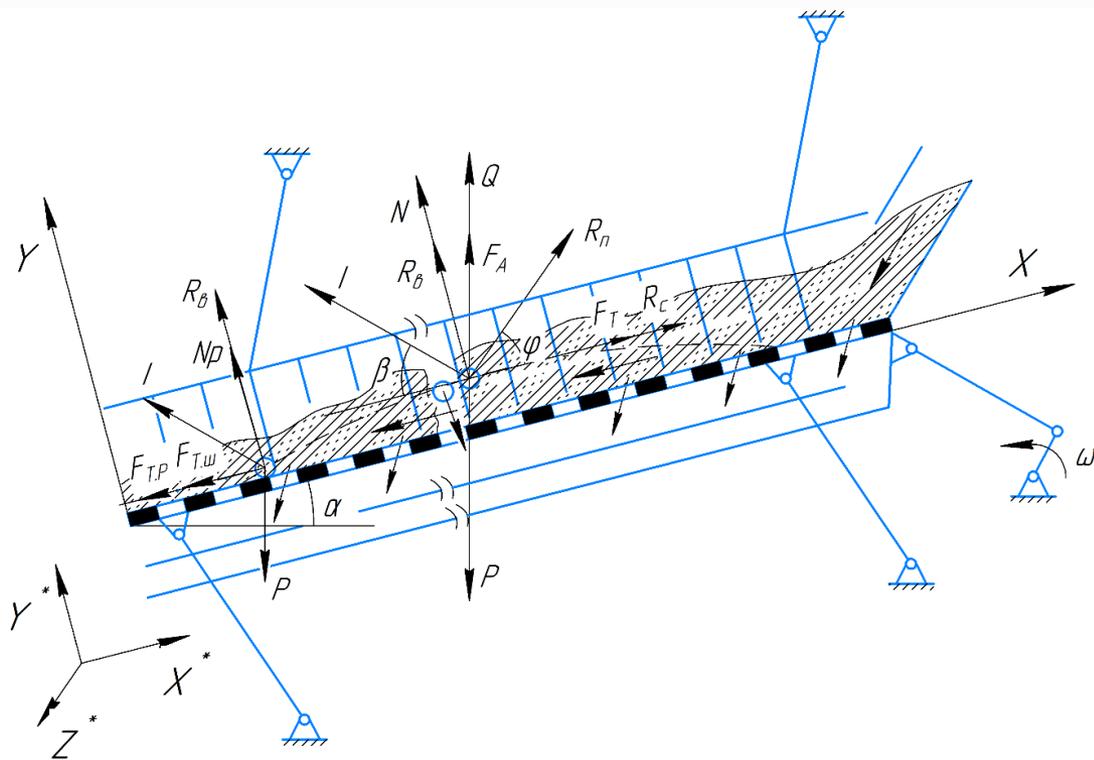
Для її досягнення було вирішено **завдання**:

- проведено аналіз результатів наукових досліджень процесів безрешітного очищення та фракціонування зернових матеріалів
- проведено аналіз відомих способів та конструкцій шнекових транспортерів для переміщення сипких матеріалів і відомих конструкцій запобіжних муфт та результатів їх теоретичних і експериментальних досліджень;
- розроблено математичну модель руху частинки по кромці похилої площини, яка обертається навколо осі обмежуючого циліндра;
- досліджено силову взаємодію частинки із зерновим шаром у процесі поділу у випадку, коли площина коливання сита розташована під кутом до горизонту;
- розроблено методика проведення досліджень, стендове обладнання та експериментальні установки та проведено комплекс експериментальних досліджень процесу очищення зернового матеріалу;
- виконано кінетостатичний аналіз запобіжної муфти гвинтового конвеєра та отримати аналітичні залежності для встановлення взаємозв'язку між силовими та конструктивними параметрами;
- встановлено взаємозв'язок між величиною контактних напружень та конструктивними параметрами елементів зачеплення запобіжної муфти гвинтового конвеєра;
- розроблено динамічну модель процесу роботи запобіжної муфти з визначенням параметрів руху півмуфт при їх осьовому відведенні;
- розроблено методика проведення досліджень, стендове обладнання та експериментальну модель запобіжної муфти для гвинтового конвеєра, що дає можливість оцінити параметри при осьовому відведенні робочого органу у випадку виникнення його перевантаження та проведено комплекс статичних та динамічних досліджень для визначення раціональних конструктивних параметрів і режимів роботи запобіжного пристрою;
- обґрунтувати раціональні параметри шнекового живильника на основі аналізу руху технологічної маси по його поверхні;
- досліджено процес переміщення зернового матеріалу при його транспортуванні у вигляді суцільного потоку із врахуванням його щільності, фізико-механічних властивостей, а також конструктивних і технологічних параметрів пневмотранспортера;
- розроблено конструкцію пневмомеханічного транспортера та експериментальні установки для дослідження процесу переміщення сипких матеріалів з автоматичним підживленням їх потоку струменем повітря та виконано комплекс експериментальних досліджень з визначення впливу параметрів процесу транспортування.

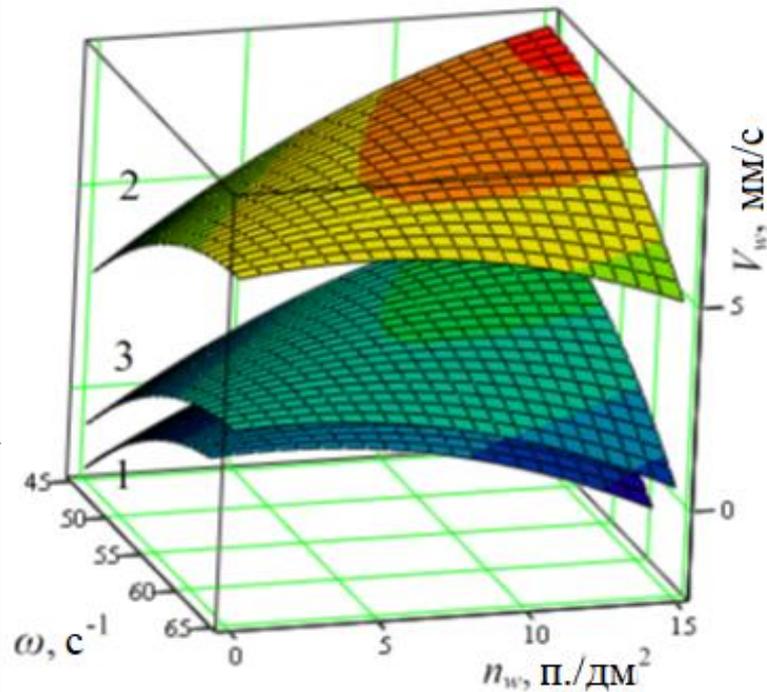
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ



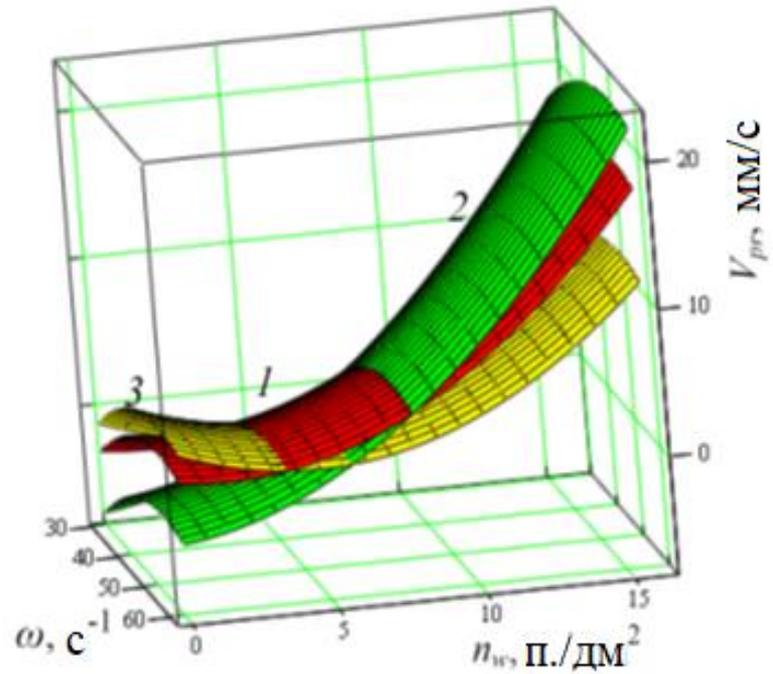
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ВІБРО-ПНЕВМАТИЧНОМУ СЕПАРАТОРІ



Швидкість частинок V_w частки штифтів щільності n_w та частоти коливань сит ω з різними значеннями кута до горизонтальної робочої площини α° :
 1 - 2° ; 2 - 6° ; 3 - 10° ; при $V_B = 1 \text{ м/с}$;
 $q_F = 60 \text{ кг / (дм}^2 \cdot \text{год)}$



Швидкість густини частинок V_{pg} частка пинових щільностей n_w та частоти коливань сит ω при різних значеннях швидкості повітря V_B :
 1 - $V_{B1} = 0,5 \text{ м/с}$; 2 - $V_{B2} = 1 \text{ м/с}$;
 3 - $V_{B3} = 1,5 \text{ м/с}$; при $\alpha = 6^\circ$; $q_F = 60 \text{ кг/(дм}^2 \cdot \text{год)}$



РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ПЛОСКОРЕШІТНОМУ СЕПАРАТОРІ З АСПІРАЦІЙНОЮ КАМЕРОЮ ІЗ РОЗКИДАЧАМИ

Загальний вигляд розкидачів, на яких виконували експериментальні дослідження



конічний розкидач без лопаток

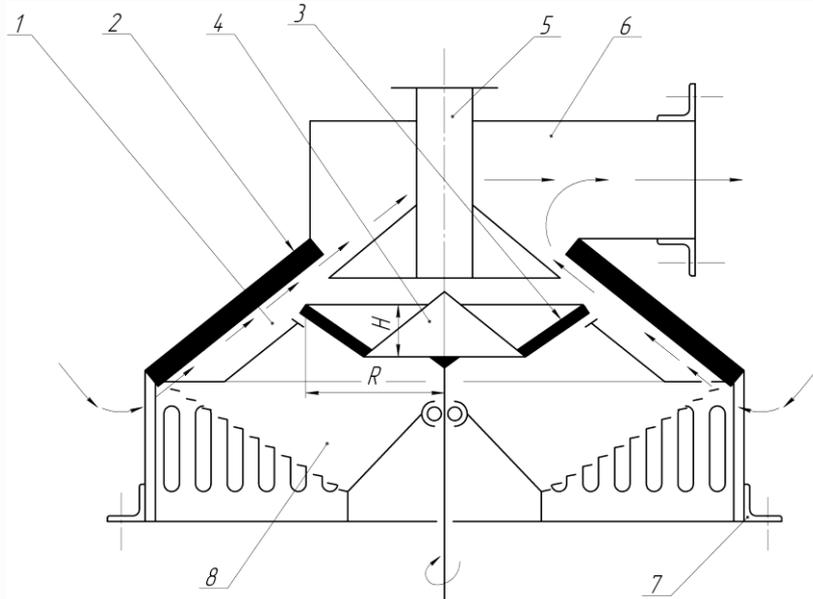


конічний розкидач з лопатками



серійний розкидач

Конструкційна схема удосконаленої аспіраційної камери та її загальний вигляд у складі експериментальної установки

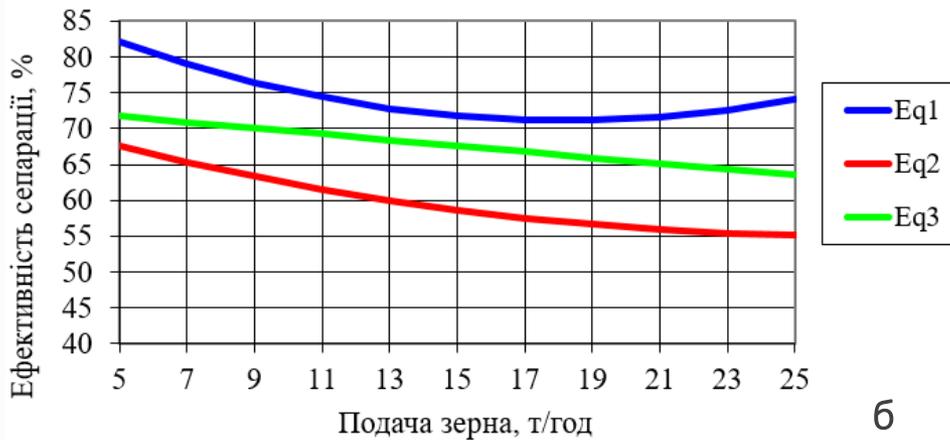
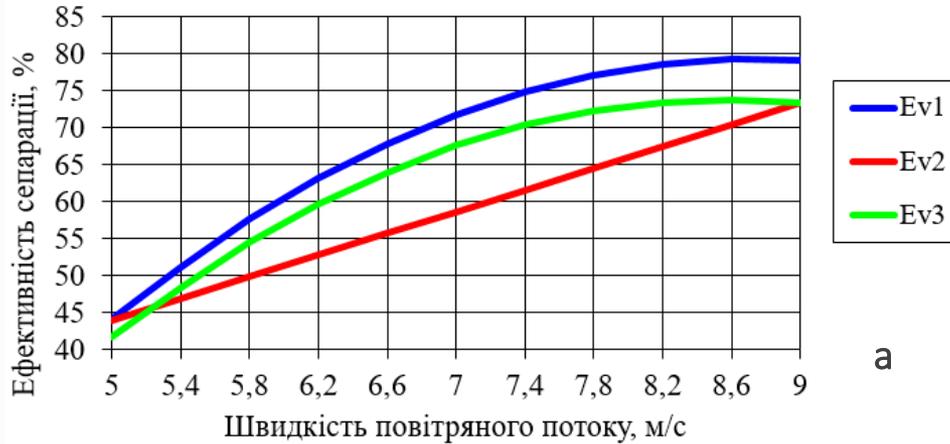


- 1 – кільцевий канал;
- 2 – внутрішня поверхня каналу;
- 3 – внутрішня поверхня розкидача зерна;
- 4 – розкидач зерна;
- 5 – дозатор;
- 6 – патрубок;
- 7 – фланець;
- 8 – аерожолоб

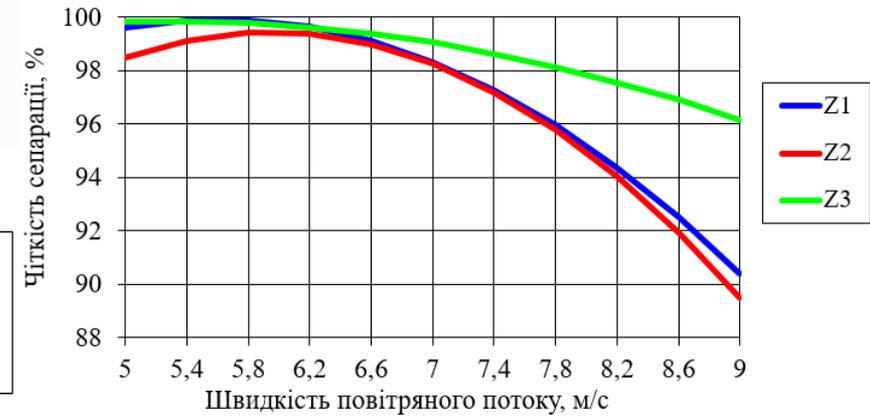


Графічні залежності ефективності сепарації E від швидкості повітряного потоку u (а) та подачі зерна q (б):

- 1 – конічний розкидач без лопаток;
- 2 – конічний розкидач з лопатками;
- 3 – серійний розкидач

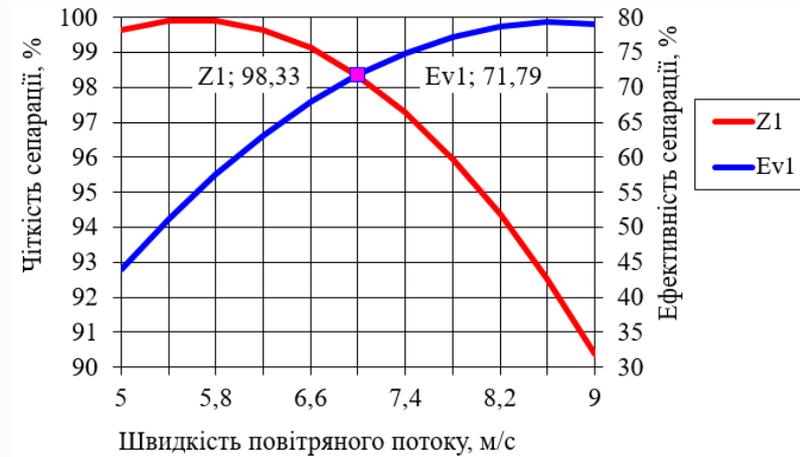


Графічні залежності чіткості сепарації Z від швидкості повітряного потоку u : 1 – конічний розкидач без лопаток; 2 – конічний розкидач з лопатками; 3 – серійний розкидач



а

Порівняльний графік чіткості Z та ефективності сепарації E від швидкості повітряного потоку u для конічного розкидача без лопаток.



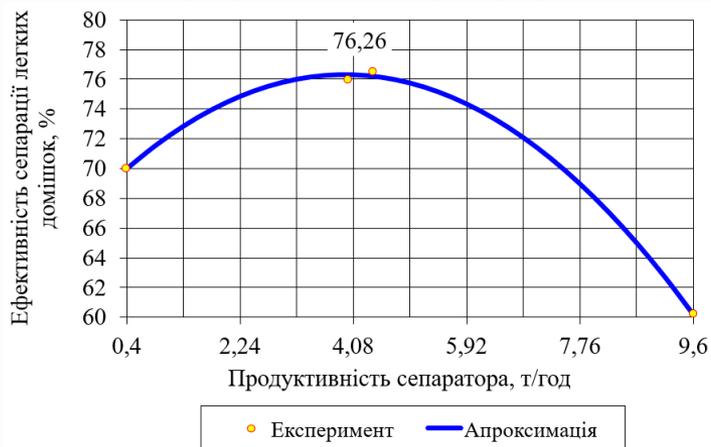
б

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ПЛОСКОРЕШІТНОМУ СЕПАРАТОРІ З МОДЕРНІЗОВАНОЮ АСПІРАЦІЙНОЮ КАМЕРОЮ

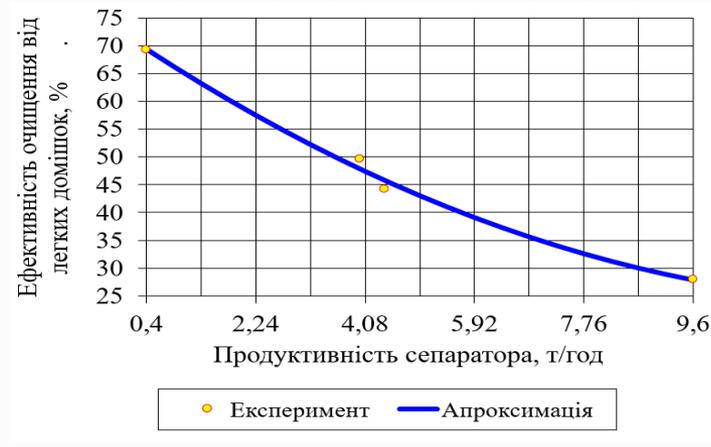
Загальний вигляд розкидачів модернізованої аспіраційної камери плоскорешітного сепаратора



Графік залежності технологічної ефективності пневмосепарації модернізованої аспіраційної камери від продуктивності сепаратора q

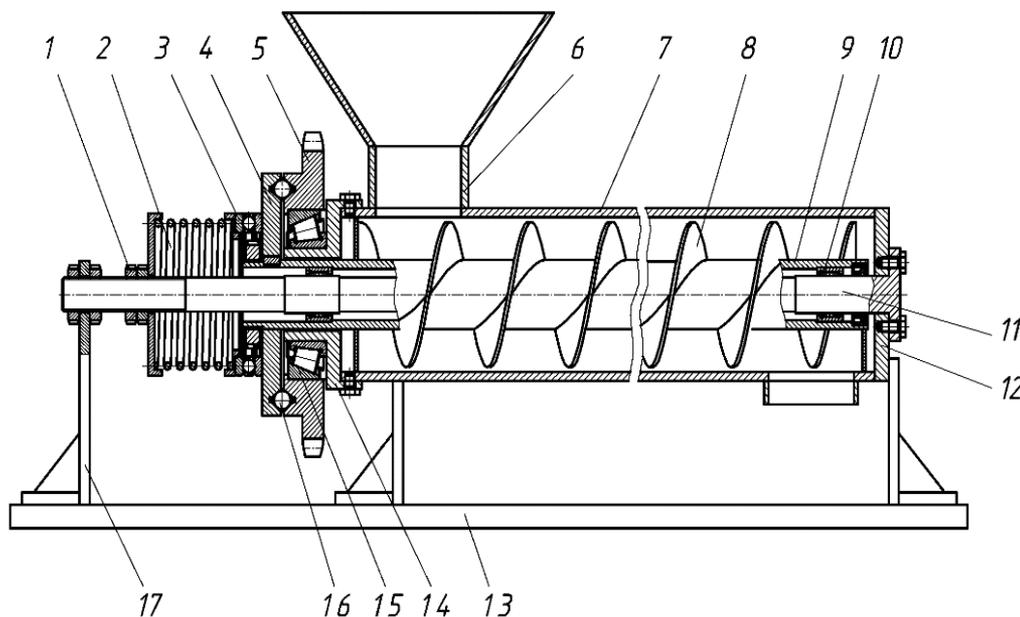


Графік залежності технологічної ефективності осадження легких домішок E_k аспіраційною камерою плоскорешітного сепаратора від продуктивності сепаратора q



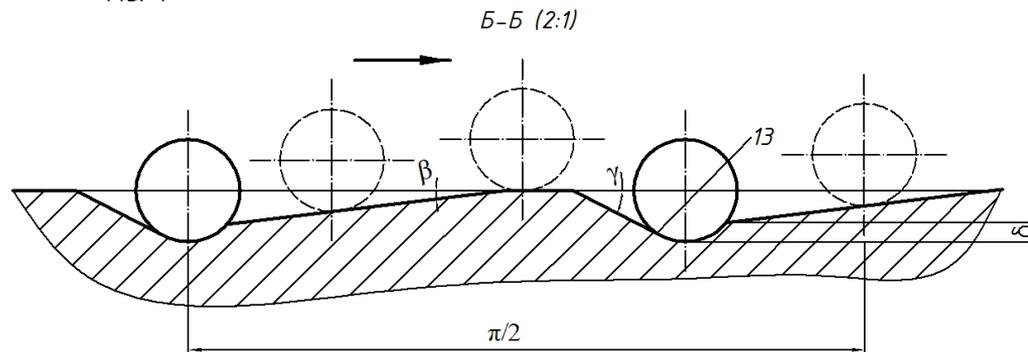
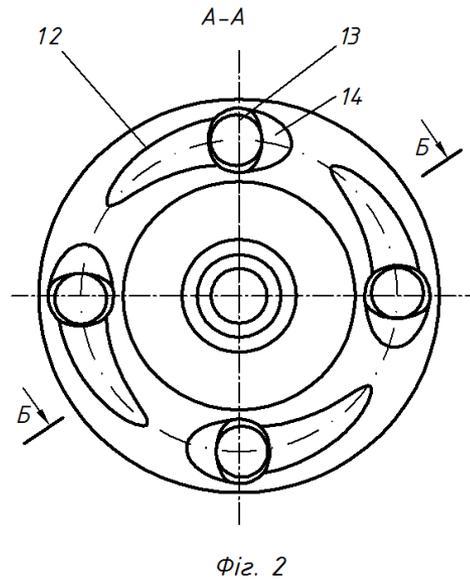
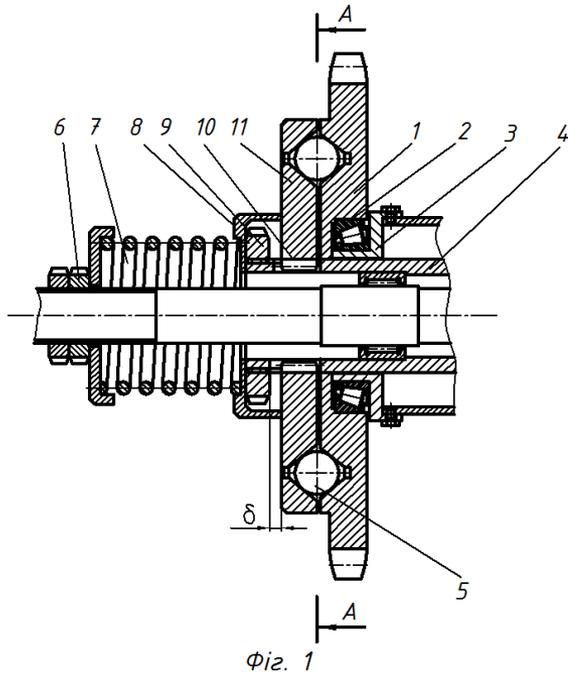
ДОСЛІДЖЕННЯ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА ІЗ ЗАПОБІЖНОЮ МУФТОЮ

Конструктивна схема та загальний вигляд гвинтового конвеєра із запобіжною муфтою



1 – гайка; 2 – пружний елемент; 3 – підшипник; 4 – ведена півмуфта; 5 – ведуча півмуфта; 6 – бункер; 7 - корпус конвеєра; 8 - гвинтовий живильник; 9 – трубчастий вал шнека; 10 - втулка ; 11 – суцільний вал шнека; 12 – фланець; 13 – рама; 14 – фланець; 15 – підшипник; 16 – кульки; 17 – стійка

КОНСТРУКТИВНА СХЕМА ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ ТА ЇЇ ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД

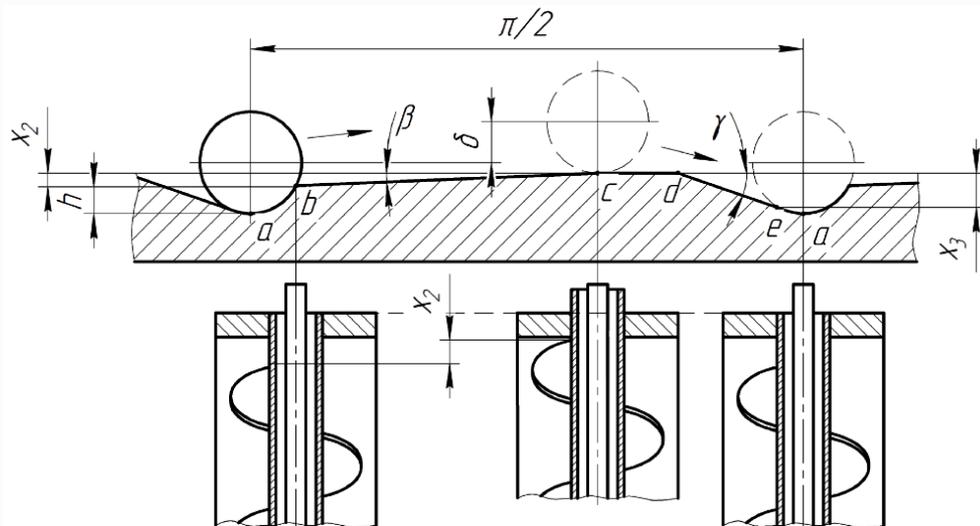


- 1 – ведуча півмуфта; 2 – підшипник; 3 – корпус; 4 – вал; 5 – кульки; 6 – гайка;
 7 – центральна пружина; 8 - втулка; 9 – гайка; 10 - шліци; 11 – ведена півмуфта;
 12 – робоча канавка; 13 – лунка; 14 – зворотна канавка



КІНЕТОСТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

Схема роботи запобіжної муфти



Етап 1. Переміщення кульок по ввігнутий поверхні лунок веденої півмуфти

$$T_{1e} = \frac{cD \left(\delta_0 + h - r + \frac{r}{R} \left((R-r) \sin \alpha_1 - h + r \right) \right)}{2 \left(\frac{(R-r) \sin \alpha_1 - h + r - \operatorname{tg} \varphi \cdot \sqrt{R^2 - \left((R-r) \sin \alpha_1 - h + r \right)^2}}{\sqrt{R^2 - \left((R-r) \sin \alpha_1 - h + r \right)^2} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \left((R-r) \sin \alpha_1 - h + r \right)} - f \right)}$$

Етап 2. Вихід кульок з лунок на похилі плоскі поверхні веденої півмуфти

$$T_2 = \frac{cD (\delta_0 + h - r (1 - \sin \alpha_1) + x)}{2 \left(\frac{r \sin \alpha_1 - x - \operatorname{tg} \varphi \cdot \sqrt{r^2 - (r \sin \alpha_1 - x)^2}}{\sqrt{r^2 - (r \sin \alpha_1 - x)^2} + \operatorname{tg} \varphi (r \sin \alpha_1 - x)} - f \right)}$$

Етап 3. Переміщення кульок по похилій робочій канавці веденої півмуфти

$$T_3 = \frac{cD (\delta_0 + h + x_2)}{2 (\operatorname{tg} (90^\circ - \beta - \varphi) - f)}$$

Етап 4. Переміщення кульок по похилій зворотній канавці веденої півмуфти

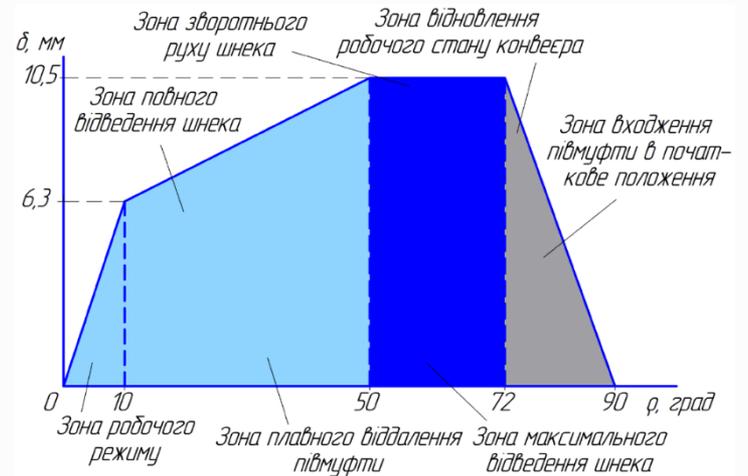
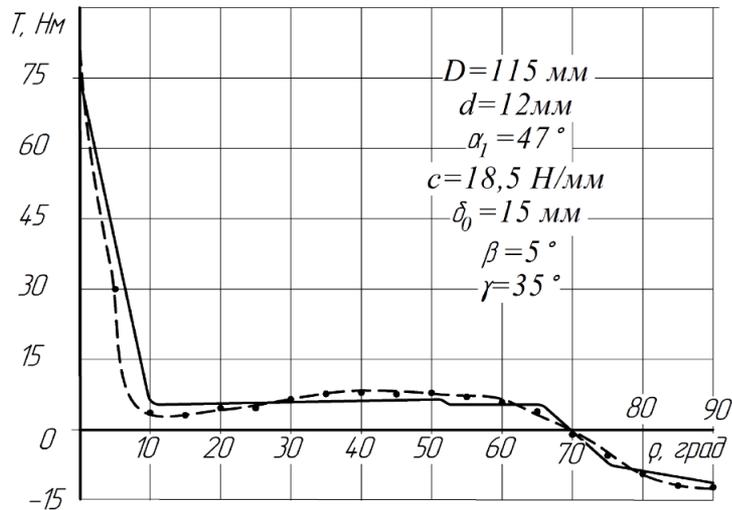
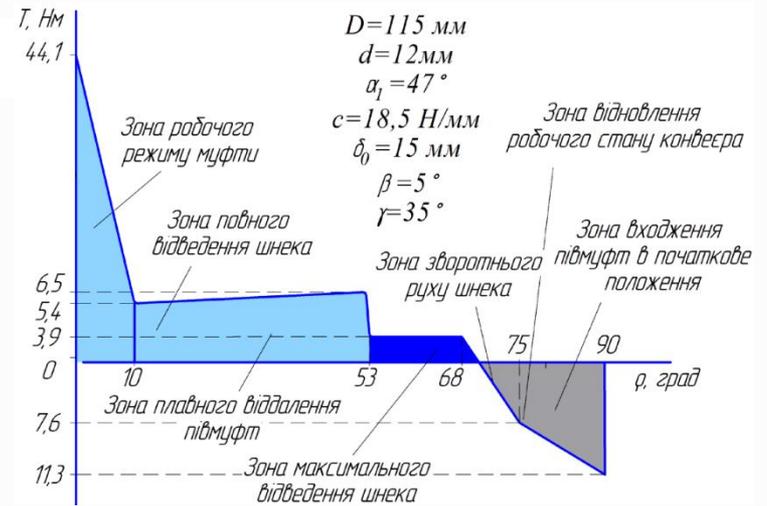
$$T_4 = - \frac{cD (\delta_0 + h - x_3)}{2 (\operatorname{tg} (90^\circ - \gamma + \varphi) - f)}$$

РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ



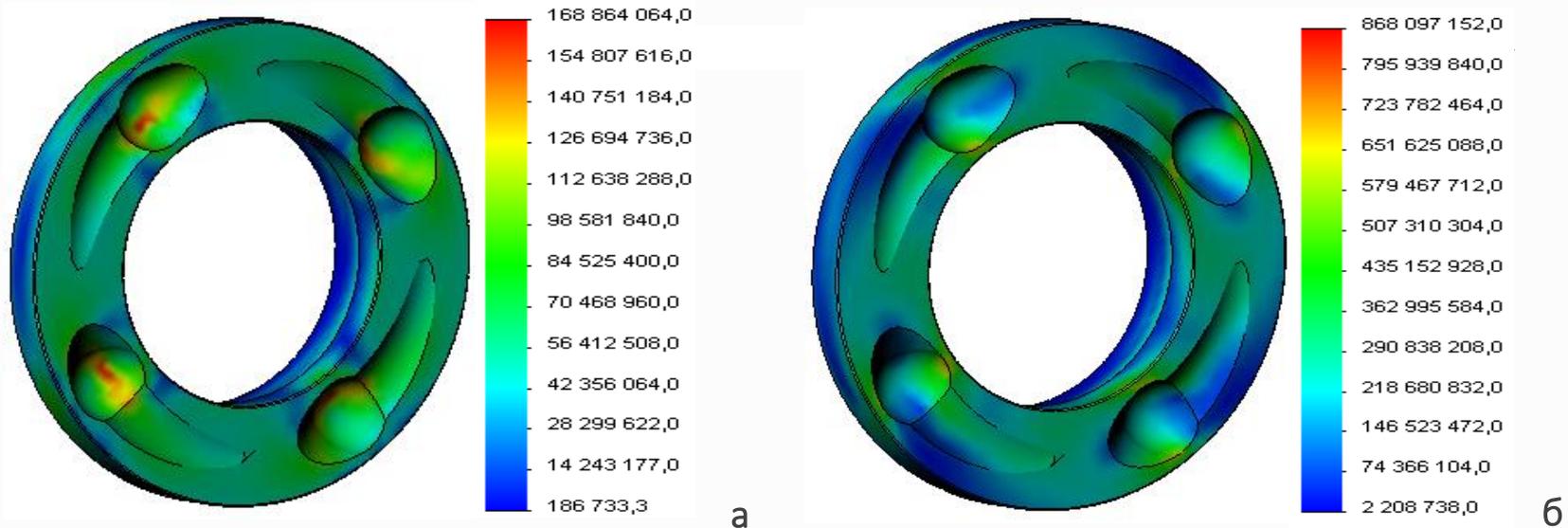
Результати порівняння теоретичних і експериментальних досліджень

Залежність крутного моменту T , який виникає на кожному етапі роботи запобіжної муфти та осевого переміщення веденої півмуфти δ від зміни кута відносного провертання півмуфт ρ

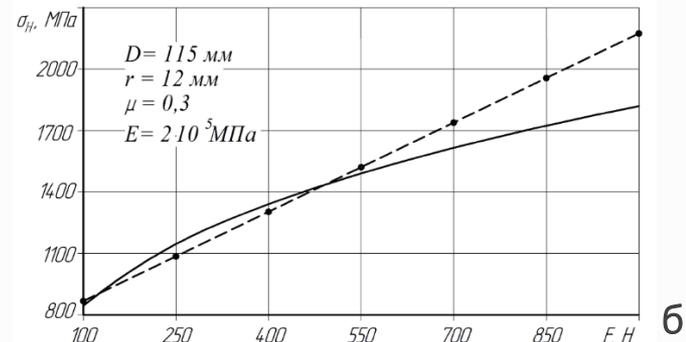
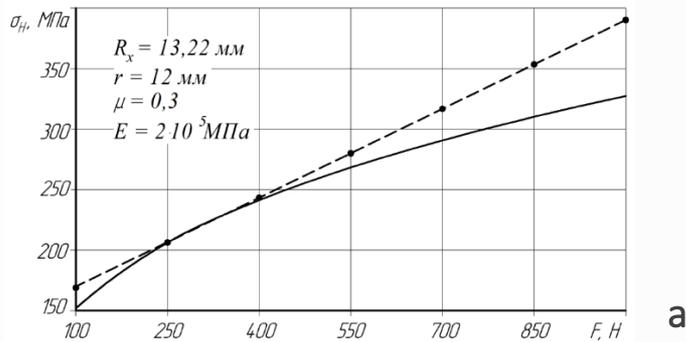


РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ ПІД ЧАС РОБОТИ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

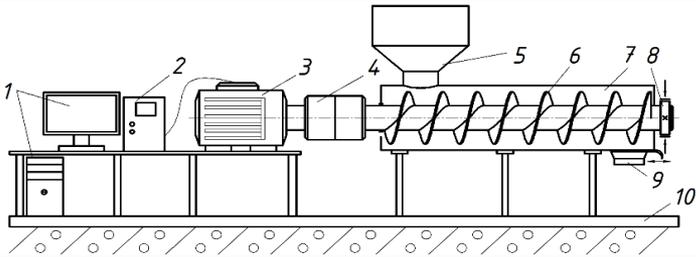
Епюри розподілу контактних напружень σ_H (Па) у зачепленнях запобіжної муфти при зусиллі $F = 100\text{Н}$: **а** - кулька-лунка і **б** - кулька-канавка



Графіки зміни контактних напружень σ_H (Па) від сили F : **а** - кулька-лунка і **б** - кулька-канавка



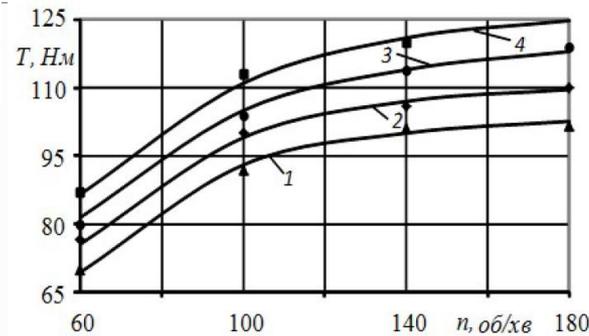
РЕЗУЛЬТАТИ ДИНАМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ



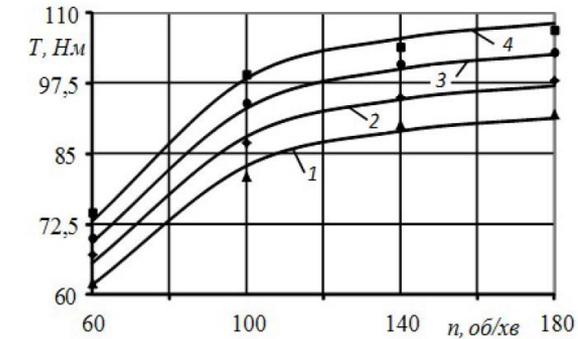
- 1 – комп'ютер; 2 - перетворювач частоти (Altivar 71);
- 3 – електродвигун; 4 – муфта;
- 5 – бункер; 6 - шнековий робочий орган; 7 - направляюча труба; 8 - гальма валу шнека; 9 – заслінка; 10 - рама



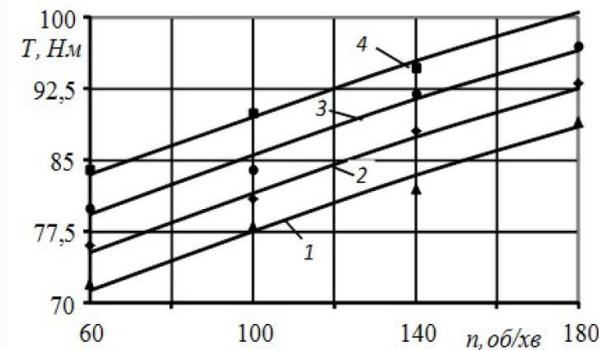
Залежність T від n при кутах α нахилу: 1 - $\alpha = 0^\circ$;
2 - $\alpha = 10^\circ$; 3 - $\alpha = 20^\circ$; 4 - $\alpha = 30^\circ$



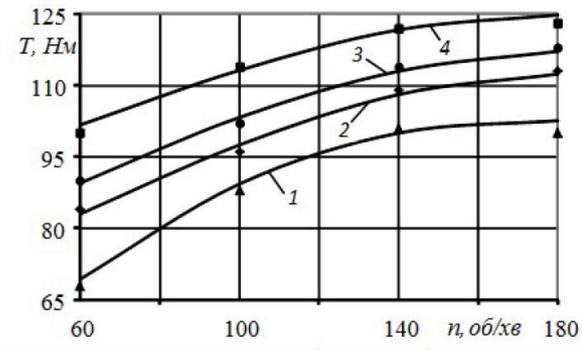
Залежність T від n при c :
1 - $c = 16,5$ Н/мм; 2 - $c = 17,5$ Н/мм;
3 - $c = 18,5$ Н/мм; 4 - $c = 19,5$ Н/мм



Залежність T від n при зазорах Δ :
1 - $\Delta = 1$ мм; 2 - $\Delta = 1,5$ мм;
3 - $\Delta = 2$ мм; 4 - $\Delta = 2,5$ мм

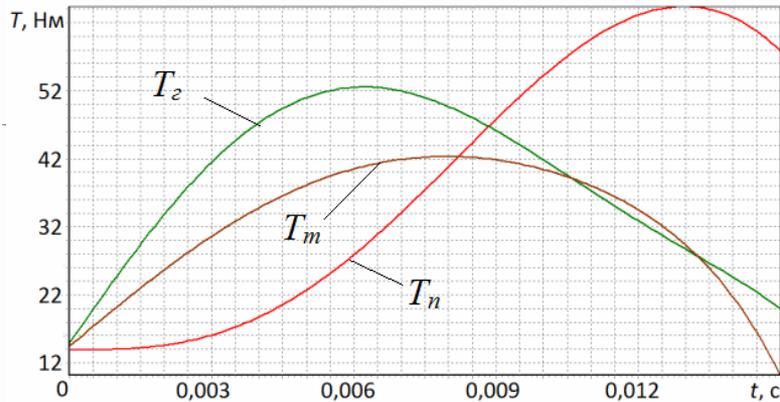


Залежність T від n при матеріалах:
1 – пісок; 2 - пшениця,
3 - кукурудза, 4 - керамзит



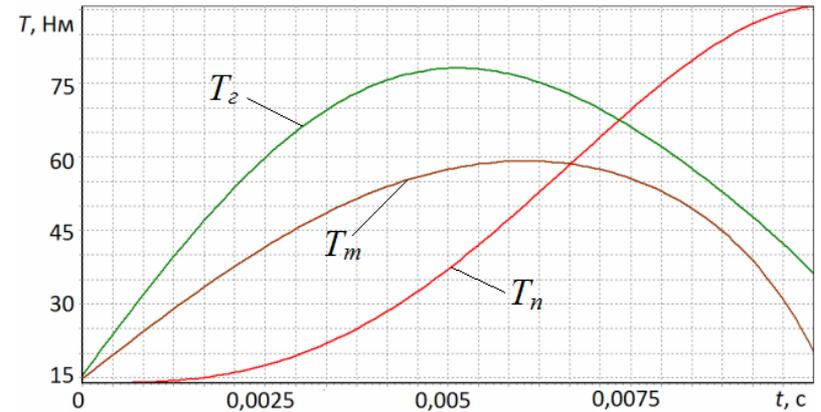
Графічні залежності зміни величини обертового моменту при провертанні півмуфти

При $m = 8$ кг; $n = 60$ об/хв



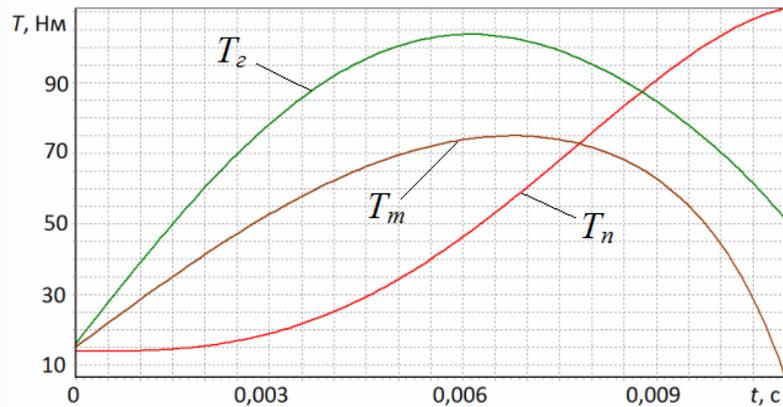
а

При $m = 8$ кг; $n = 100$ об/хв



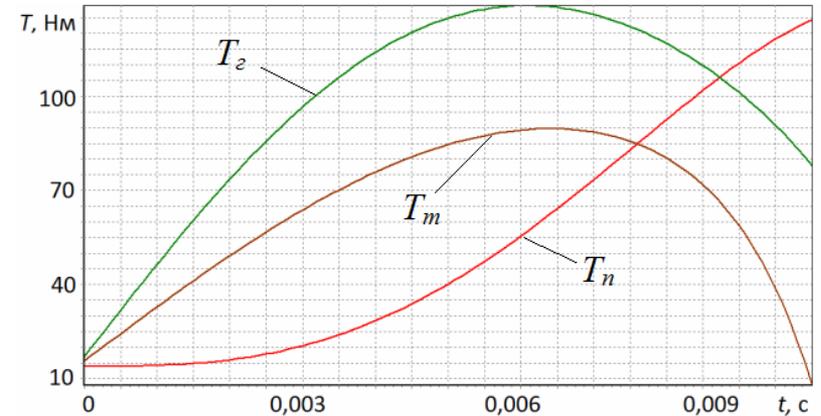
б

При $m = 8$ кг; $n = 140$ об/хв



в

При $m = 8$ кг; $n = 180$ об/хв



г

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ КРУТНОГО МОМЕНТУ СПРАЦЮВАННЯ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ ЗА БАГАТОФАКТОРНИМ ЕКСПЕРИМЕНТОМ

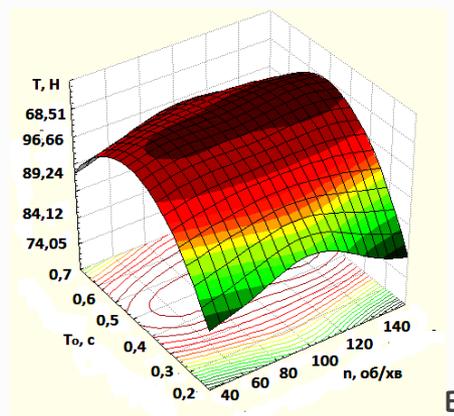
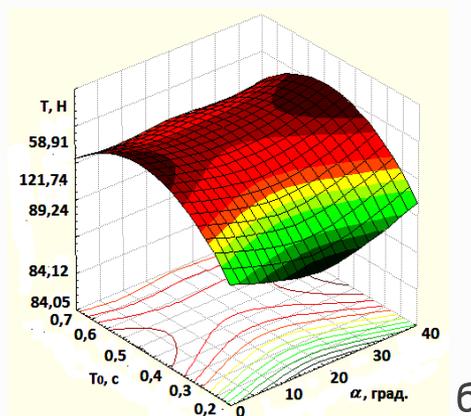
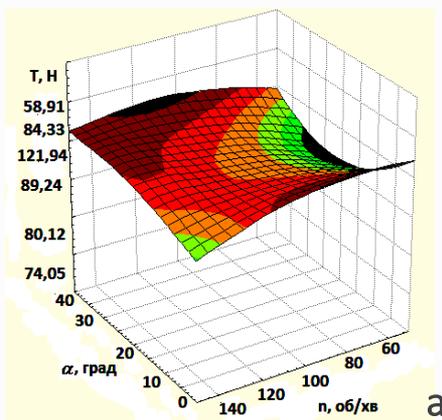
Результати кодування факторів та рівні їх варіювання ПФЕ 3³

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Кодов.	Натур.				
Кут нахилу робочого органу до горизонту α , град	X_1	x_1	20	0/-1	20/0	40/+1
Частота обертання шнека, n , об/хв	X_2	x_2	50	50/-1	100/0	150/+1
Час зростання моменту опору T_0 , с	X_3	x_3	0,25	0,2/-1	0,45/0	0,7/+1

Рівняння регресії: $T = 106,091 - 0,019\alpha + 0,142\alpha n - 0,012nT_0 + 0,062T_0^2$

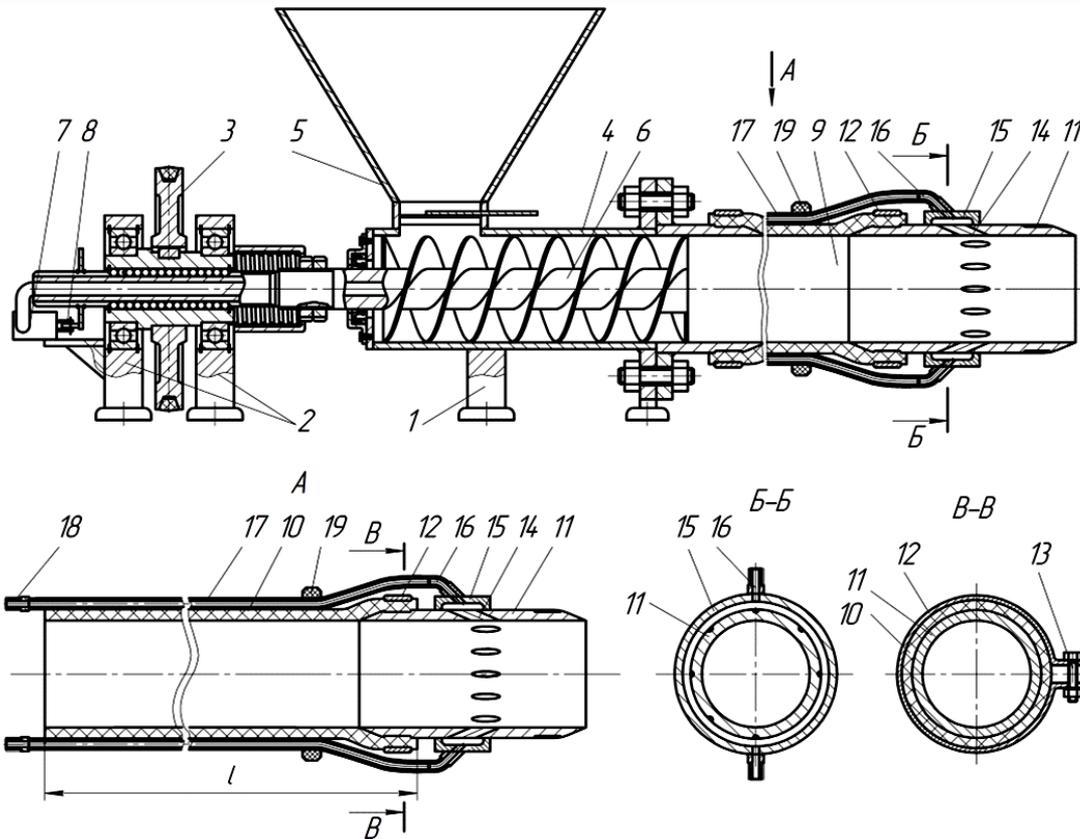
Поверхні відгуку крутного моменту T від одночасної зміни двох факторів:

а - $T=f(n, \alpha)$; б - $T=f(\alpha, T_0)$; в - $T=f(n, T_0)$



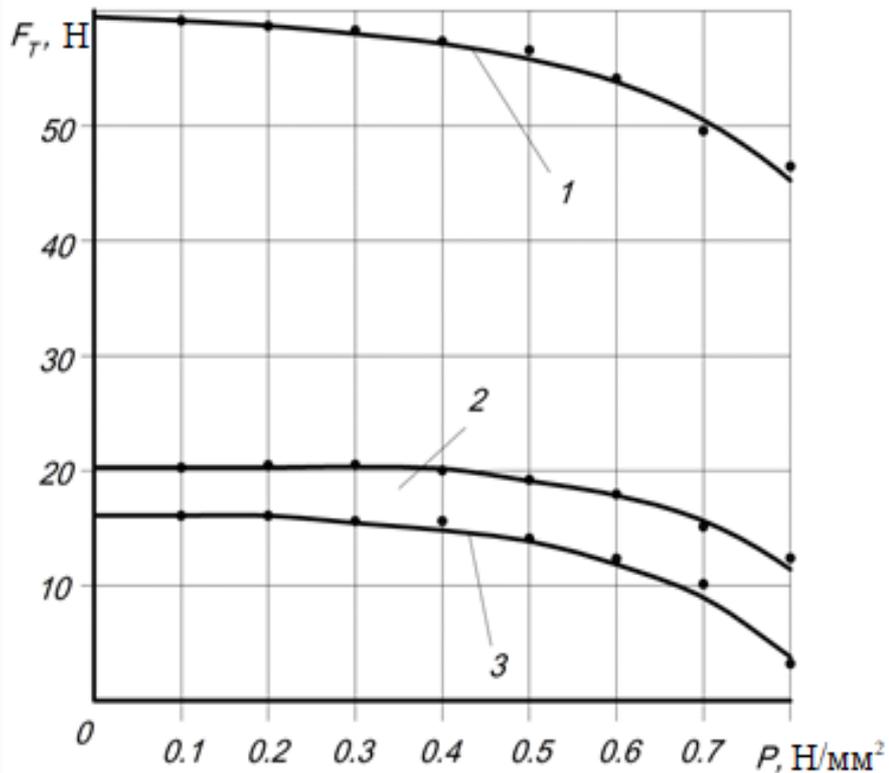
ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМО-ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

Конструктивна схема та загальний вигляд пневмо-шнекового транспортера

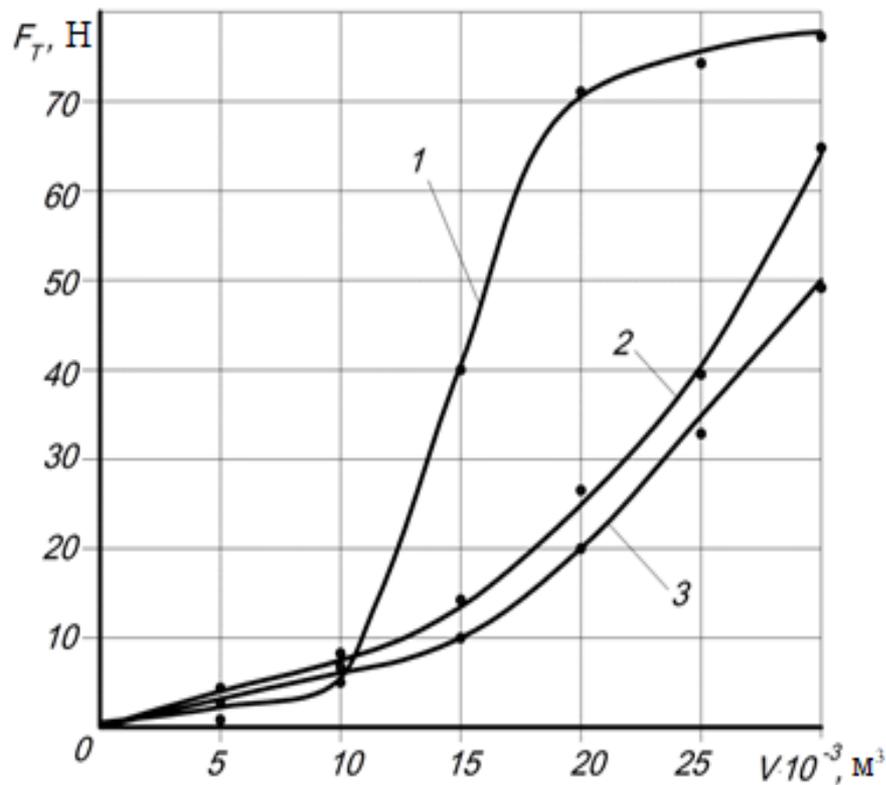


1 і 2 – опори; 3 – привід; 4 - корпус транспортера; 5 – бункер; 6 - гвинтовий живильник; 7 – пневмосистема; 8 - пневматичний клапан; 9 – секції; 10 - еластичний кожух; 11 – втулка; 12 - кільце; 13 – болт; 14 – отвори; 15 – П-подібна втулка; 16 – штуцер; 17 – шланги подачі повітря; 18 – вхідні штуцери; 19 - хомут

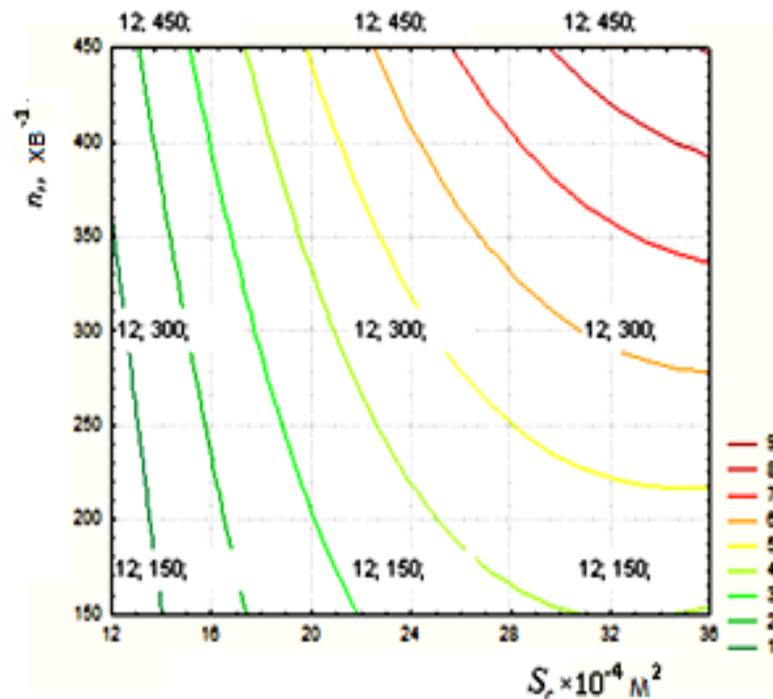
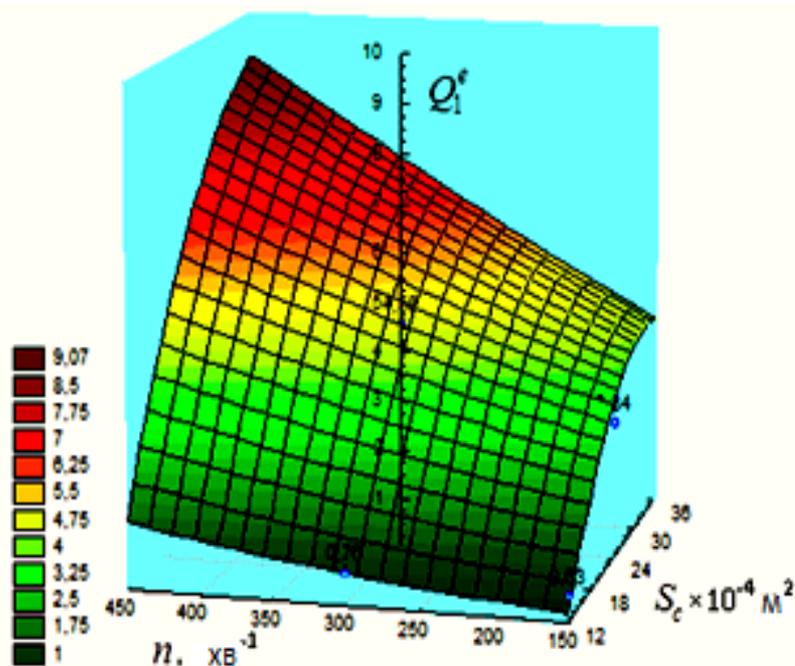
Графічні залежності зусилля переміщення вантажу від тиску повітря: 1-пшениця; 2-тирса; 3-висівки



Графічні залежності зусилля переміщення матеріалу на одному погонному метрі F_T від об'єму V сипкого матеріалу: 1-пшениця; 2-тирса; 3-висівки



Поверхня відгуку та її двомірний переріз зміни продуктивності експериментальної установки в залежності від площі східного отвору бункера S_c та частоти обертання шнека n



Загальний вигляд кадрової зйомки процесу прискорення переміщення матеріалу



Поверхні відгуку та їх двовірний переріз продуктивності пневмо-шнекового транспортера як функціонала $Q_n = f(S_c, P)$ при $n = 300$ об/хв та $Q_n = f(n, P)$ при $S_c = 24 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

